

O. M. Naukovi osnovi viboru parametriv akumuljatornoj palivnoj aparaturi z elektronim keruvannjam dlja visokoobertovogo dizelja. 'Avto-ref. diss. ... dokt. tehn. nauk : 05.05.03 / O. M. Vrublevs kij. - H. : HNADU, 2010. - 36 s. 8. Meshkov D. V. Rozrobka sistemi palivopodachi z elektronim keruvannjam avtotraktor-nogo dizelja z linijnim p'ezelektrichnim peretvorjuva-chem. 'Avto-ref. diss. ... kand.

tehn. nauk : 05.05.03 / D. V. Meshkov. - H. : HNADU, 2010. - 20 s. 9. Tyrlovoj S.I. K opredeleniju ciklovoj podachi topliva TNVD pri neustanovivshijsja rezhimah vysokooborotnogo avtomobil'nogo dizelja / S. I. Tyrlovoj // Dvigateli vnutren-nego sgoranija. - 2010. - № 1. - S.57-61.

УДК621.436: 539.3: 621.74

С. Б. Таран, инж., О. В. Акимов, д-р техн. наук, А. П. Марченко, д-р техн. наук

АНАЛИЗ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ЧУГУНА ДЛЯ ПОРШНЕЙ ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ ДВС

Современное двигателестроение нуждается в существенном повышении мощности, топливной экономичности и обеспечении высоких экологических показателей ДВС. Форсирование дизельных двигателей достигается турбонаддувом при использовании поршней с выполненной в них камерой сгорания. В таком случае, в связи со значительным ростом механических и термических напряжений, поршень становится одной из наиболее нагруженных деталей двигателя. Параллельно возрастают и трудности выполнения высоких, предъявляемых к ним требований. Все более жесткими становятся ограниченные возможности традиционных поршневых материалов. Высокое форсирование современных дизельных ДВС приводит к образованию повреждений поверхности и тела поршня. При этом распространенными являются такие дефекты [1]:

- а) образование сетки микротрещин или сквозной трещины в днище и бобышках;
- б) оплавление огневой поверхности днища;
- в) износ и выкрашивание канавки под верхнее компрессионное кольцо;
- г) задиры рабочей поверхности;

Среди названных дефектов наиболее опасными являются трещины термоциклической усталости. Поэтому при обосновании материала поршня необходимо учитывать сложные условия его работы, а также многочисленные факторы, которые влияют на процесс образования трещин.

К сожалению, многочисленные данные, приведенные в справочниках и стандартах на поршневые сплавы [2], не дают единой характеристики, по которой можно было бы, хотя бы в некотором приближении, оценить их сопротивление термической усталости в условиях термоциклического нагружения. По нашему мнению такой объединяющей характеристикой может быть термическая вы-

носливость, то есть свойство, характеризующее способность материала противостоять термической усталости, и определяемое путем долгосрочных испытаний при термоциклической нагрузке. Для проведения таких испытаний требуется подготовка специальных образцов и довольно тщательная обработка экспериментальных данных

С целью ускорения принятия решения о пригодности поршневого материала для работы в условиях высоких термоциклических нагрузок и учитывая, что термическая выносливость зависит от комплекса его механических и теплофизических свойств, нами принималось решение разработать специальный критерий оценки термической выносливости, используя для этого результаты механических испытаний и теплофизические свойства материала [3]. Это позволяет существенно упростить и ускорить получение требуемых результатов.

Смысл такого предложения заключается в получении и анализе диаграмм, записанных в координатах «нагрузка-деформация» при испытании обычных образцов на разрыв. В такой диаграмме испытаний площадь соответствует полной работе деформации, т.е. упругой и пластической составляющих, соотношение между которыми с повышением температуры испытаний изменяется в сторону уменьшения упругой деформации и роста пластической деформации (рис.1.) В условиях рабочих температур более пластичные материалы показывают меньшую термическую выносливость, так как при термоциклировании это приводит к накоплению остаточных пластических деформаций и росту термических напряжений. Поэтому для снижения влияния ползучести и получения более корректных результатов при сравнительных исследованиях считаем необходимым ограничивать удельную работу деформации упруго-пластической областью,

не превышающий определенную величину деформации. Это связано с тем, что активное сопротив-

ление возникающим напряжениям чугуна оказывает примерно до 1 - 2 % деформации.

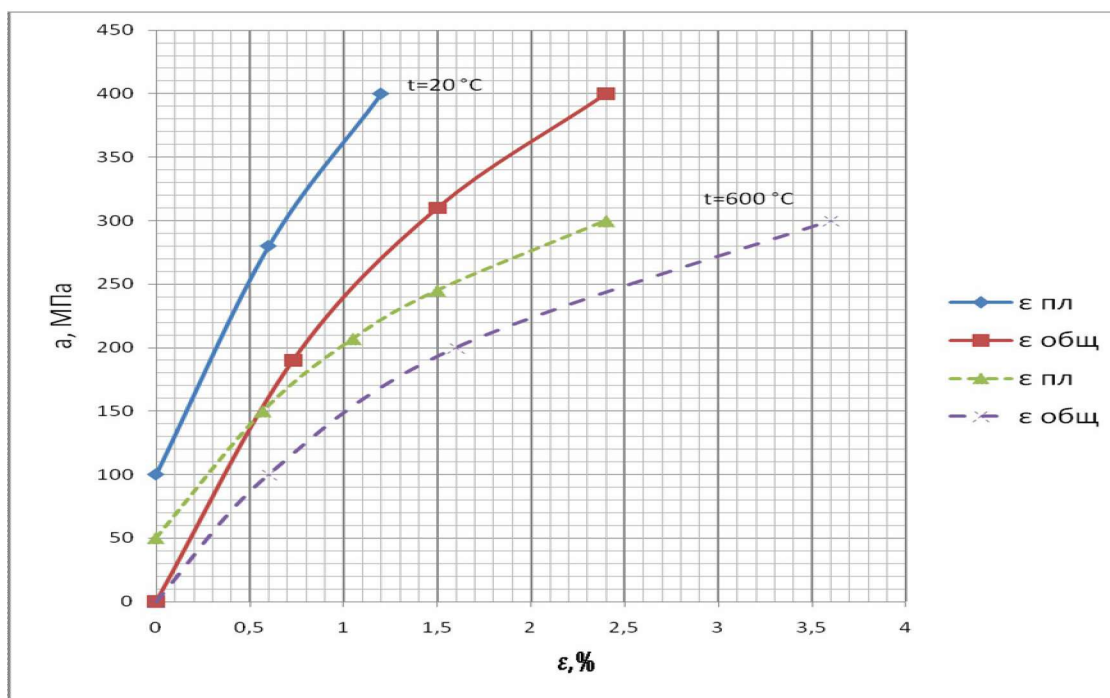


Рис. 1. Соотношение упругой и пластической деформации при растяжении алюминиевого ЧВГ в условиях разных температур ($\epsilon_{\text{общ}} = \epsilon_{\text{пл}} + \epsilon_{\text{упр}}$)

В процессе механических испытаний разных материалов поршней на разрыв и термическую выносливость был найден критерий оценки термической выносливости через совокупность механических и теплофизических свойств:

$$K_{\text{т.в.}} = A^t \cdot \lambda / \alpha \cdot K_p$$

где A^t - удельная работа деформации при рабочей температуре; λ - теплопроводность; α - коэффициент линейного расширения; K_p - коэффициент размерной стабильности (роста) материала;

В этом критерии работа упруго-пластической деформации, являющаяся энергетической характеристикой материала, определяет его сопротивляемость возникающим напряжениям, а теплофизические свойства - величину последних. Целесообразность ввода в критерий упруго-пластической деформации доказана экспериментально с помощью математической корреляции путем испытаний сплавов на термическую выносливость, определения их механических свойств (σ , ϵ , σ^{600} , ϵ^{600} , A^{600}) и расчетов на ЭВМ.

Установлено, что работа деформации является доминирующей среди остальных механических свойств. При этом с повышением температуры испытаний роль общей работы деформации уменьшается, а определяющей становится та ее часть, ко-

торая выполнена в упруго-пластической области, т.е. когда коэффициент деформационного упрочнения $\Theta = d\sigma / d\epsilon$ стремится к нулю.

Обращает на себя внимание то, что основой предлагаемого критерия является удельная работа деформации материала при рабочей температуре. Поэтому для повышения его термической выносливости следует идти по пути увеличения именно удельной работы деформации. Использование этого критерия в пределах конструкторско-технологического проектирования позволяет ускорить процесс выбора оптимального состава материала поршня и технологии его производства.

Исходя из высокой нагруженности современных форсированных ДВС альтернативным материалом для поршней вместо алюминиевых сплавов становится чугун, и не простой серый, а высокопрочный. Именно поэтому за последние 10 лет в двигателестроении резко возрос интерес к применению высокопрочных чугунов, особенно наметилась тенденция к использованию чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ) для литых блоков цилиндров, выхлопных коллекторов, поршней, коленчатых валов и ряда других деталей двигателей [4].

Следует отметить, что к настоящему време-

ни в промышленности применяется более 300 марок чугунов. Все они отличаются химическим составом, свойствами, структурой и технологией получения, но обладают одним общим «родственным» признаком – они построены на базе системы Fe – C – Si. В начале 70-х годов прошлого столетия показано, что чугуны могут быть построены по принципиально новой системе Fe-C-Al, подобной классической системе Fe-C-Si [4], и назвали их алюминиевыми чугунами. Эти чугуны также как и традиционные или стандартные могут иметь компактную (вермикулярную) форму графита с ферритной, феррито – перлитной или перлитной матрицей. Алюминиевый чугун с вермикулярным графитом (алюминиевый ЧВГ) – новый конструкционный материал, обладающий рядом специфических свойств, которые выдвигают его в число перспективных материалов для машиностроения, в связи с тем, что он обладает:

- хорошими литейными свойствам ;
- высокой теплопроводностью, близкой к серому чугуну;
- высокой прочностью и пластичностью, близкими к ЧШГ
- хорошей обрабатываемостью.

Вермикулярный графит в этих чугунах дает возможность получить высокие механические свойства ($\sigma_b \geq 500$ МПа), следовательно, алюминиевый ЧВГ относится к группе высокопрочных чугунов и его можно с успехом применять для производства ответственных деталей высокофорсированных дизельных ДВС, таких как поршни, головки цилиндров и др.

В НТУ «ХПИ» кафедрами двигателей внутреннего сгорания и литейного производства были разработаны оригинальные конструкции монолитных чугунных и составных поршней с чугунной головкой и алюминиевым тронком, соединяемые единым поршневым пальцем [4]. Поршни подвергались физическому моделированию на специальной установке кафедры ДВС для определения напряженного состояния конструктивных элементов и дальнейшего их совершенствования, а также подвергались кратковременным испытаниям на реальных двигателях. Названные поршни были изготовлены из ЧВГ стандартной системы Fe – C – Si. Лабораторные и натурные испытания показали большую перспективность применения ЧВГ для поршней высокофорсированных дизельных двигателей.

К настоящему времени в рамках конструкторско-технологической подготовки производства чугунных поршней на кафедре литейного производства, проведено ряд исследований алюминиевого ЧВГ как наиболее перспективного материала для поршней высокофорсированных дизельных ДВС. При этом много внимания уделяется обеспечению стабильности получения необходимых свойств алюминиевого ЧВГ.

Поскольку свойства чугуна в большой мере зависят от образовавшейся структуры, прежде всего от формы графитных включений, их дисперсности и занимаемой площади, то для количественной оценки их влияния на свойства был использован коэффициент степени компактности, предложенный Тужиньски Ю. и Тараном Б. П. [6]. Коэффициент (Q_r) учитывает периметр, количество и площадь графитных включений на 1 мм² поверхности шлифа и имеет вид:

$$Q_r = L_r^2 / 2 N_r F_r$$

где L_r – периметр графитных включений на 1 мм² поверхности шлифа; N_r – количество графитных включений на 1 мм² поверхности шлифа; F_r – площадь графитных включений на 1 мм² поверхности шлифа.

В качестве инструмента использовали автоматический анализатор микроструктуры Quantimet-720 и ЭВМ Odra 1032 (по программе KWA-1).

Следует отметить, что этот коэффициент очень чувствительный к изменению технологических параметров получения ЧВГ. При одинаковой технологии получения отливок, подобной их толщине стенки и с использованием определенного модификатора Q_r зависит, прежде всего, от количества вводимого модификатора и времени выдержки металла после ввода последнего.

С увеличением количества вводимой лигатуры степень компактности графита увеличивается. При 1,2 % лигатуры ФС30РЗМ30 $Q_r = 0,28$. В этом случае в структуре чугуна образуется преимущественно шаровидный графит (около 75 %). Для алюминиевого ЧВГ коэффициент формы должен находиться в пределах $Q_r = 0,4-0,5$. Следовательно для стабильного получения вермикулярного графита определенной дисперсности количество лигатуры должно быть 0,8-0,9%. При этом необходимо ограничивать выдержку металла до заливки, т.к. после 15-17 минут эффект модифицирования практически исчезает и чугун кристаллизуется с пластинчатой формой графита.

Оценивая структуру чугуна по ГОСТ344-87 [7] форма и распределение графита в стандартном ЧВГ и в алюминии ЧВГ практически одинаковые, т.е. там и там форма графита соответствует эталону ВГф2, а его распределение эталону ВГр1, но по количеству включений на единицу площади они существенно отличаются. Поэтому количество включений графита в стандартном ЧВГ соответствует эталону ВГ70, а в алюминиевом ЧВГ этот показатель значительно превышает максимальный стандартный эталон ВГ100. Поэтому его использование становится недостаточным, т.к. количество графитных включений на единицу площади в алюминевом ЧВГ в 2 и более раза больше, чем в стандартном ЧВГ, и степень их компактности также более высокая (0,32 против 0,44 соответственно).

Заключение

При анализе пригодности поршневого материала для работы в условиях сложного термического нагружения нет необходимости проведения длительных испытаний на термическую выносливость или учитывать весь комплекс его механических и теплофизических свойств. Достаточно оценить термическую выносливость, с помощью критерия термической выносливости ($K_{т.в.}$), основной составляющей которого, является работа деформации материала в упруго-пластической области при рабочей температуре детали. Обеспечение корректных результатов возможно при условии стабильности получения заданной структуры в поршнях. Выполнение этого условия возможно при постоянном контроле степени компактности графитных включений (Q_r) в структуре отливок поршней, что требует поддержания режима литья поршней в заданных технологических параметрах. Последнее рассмотрено на примере алюминиевого ЧВГ.

Список литературы:

1. Балакин В.И. Форсированные дизели / Балакин В.И., Иванченко Н.Н., Круглова М.Г. - М.: Машиностроение, 1978. - 360 с.
2. Чекай Э. Экономнолегированные алюминево-кремниевые сплавы - как материал для поршней. Дис. ... канд. техн. наук. 05.02.01 / Чекай Э.- Х., 1985. - 210 с.
3. Отливки из чугуна с различной формой графита. ГОСТ 3443-87.
3. Таран С.Б. Оценка термической выносливости материалов поршней ДВС / С.Б. Таран, О.В. Акимов, А.П. Марченко // Двигатели внутреннего сгорания.-2010. -№ 1.- С 70-72.
4. Александров Н.Н. Применение высокопрочного чугуна с вермикулярным графитом для деталей дизельных двигателей / Александров Н.Н., Б. С. Мильман, Л.В. Ильичева // Литейное производство. - 1979. - № 7. - с. 9-10.
5. Ворожейнов А. И. Разработка конструкции и исследование напряженного состояния поршней дизеля для энергонасыщенного трактора: -дис. канд. техн. наук. 05.05.03 / А. И. Ворожейнов. Харьков, 1983. - 205 с.
6. Тужиньски Ю. Чугун с вермикулярным графитом для тонкостенных деталей, работающих в условиях теплосмен: дис. канд. техн. наук. 05.02.01./ Ю. Тужиньски. Харьков, 1989. - 222с.
7. Отливки из чугуна с различной формой графита. ГОСТ 3443-87

Bibliography (transliterated):

1. Balakin V.I. Forsirovannye dizeli / Balakin V.I., Ivanchenko N.N., Kruglova M.G. - M.: Mashinostroenie, 1978. - 360 s.
2. Chekaj Je. Jekonomnolegированные aljuminievo- kremnievye splavy - kak material dlja porshnej. Dis. ... kand. tehn. nauk. 05.02.01 /Chekaj Je.- H., 1985. - 210 s.
3. Otlivki iz chuguna s razlichnoj formoj grafita. GOST 3443-87.
3. Taran S.B. Ocenka termicheskoj vynoslivosti materialov porshnej DVS / S.B. Taran, O.V. Akimov, A.P. Marchenko // Dvigateli vnutrennego sgoraniya.-2010. - № 1.- S 70-72.
4. Aleksandrov N.N. Primenenie vysokoprochnogo chuguna s vermikuljarnym grafitom dlja detalej dizel'nyh dvigatelej / Aleksandrov N.N., B. S. Mil'man, L.V. Il'icheva // Litejnoe proizvodstvo. - 1979. - № 7. - s. 9-10.
5. Vorozhejnov A. I. Razrabotka konstrukcii i issledovanie naprjazhennogo sostojanija porshnej dizelja dlja energonasyennogo traktora: -dis. kand. tehn. nauk. 05.05.03 / A. I. Vorozhejnov. Har kov, 1983. - 205 s.
6. Tuzhin'ski Ju. Chugun s vermikuljarnym grafitom dlja tonkostennyh detalej, rabotajuwih v uslovijah teplosmen: dis. kand. tehn. nauk. 05.02.01./Ju. Tuzhin'ski. Har kov, 1989. - 222s.
7. Otlivki iz chuguna s razlichnoj formoj grafita. GOST 3443-87.

УДК 621.541

**Ф.І. Абрамчук, д-р техн. наук, О.І. Воронков, канд. техн. наук,
А.І. Харченко, канд. техн. наук, С.С. Жилін, канд. техн. наук,
І.М. Нікітченко, інж., В.С. Червяк, інж.**

СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОДВИГУНІВ

Вступ

Проблема використання стисненого повітря в якості робочого тіла в автомобільних силових установках набуває все більшої актуальності. Про це

свідчать інтенсивні науково-дослідні роботи, що проводяться у провідних країнах світу.

Удосконалюється двигун, що працює на стисненому повітрі, створений французьким фахівцем у